ГУАП

Кафедра №3

Отчет

Защищен оценкой хор

Преподаватель

доцент к.ф-м.н доцент
должность, уч степень звание

подпись дата

Царев Ю.Н
инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе №4

Математический и Физический Маятники

по курсу: Общая физика

работу выполнил

студент гр. 2 К

Санкт Петербург

2018

Цель работы

Определить ускорение свободного падения

1 Описание лабораторной установки

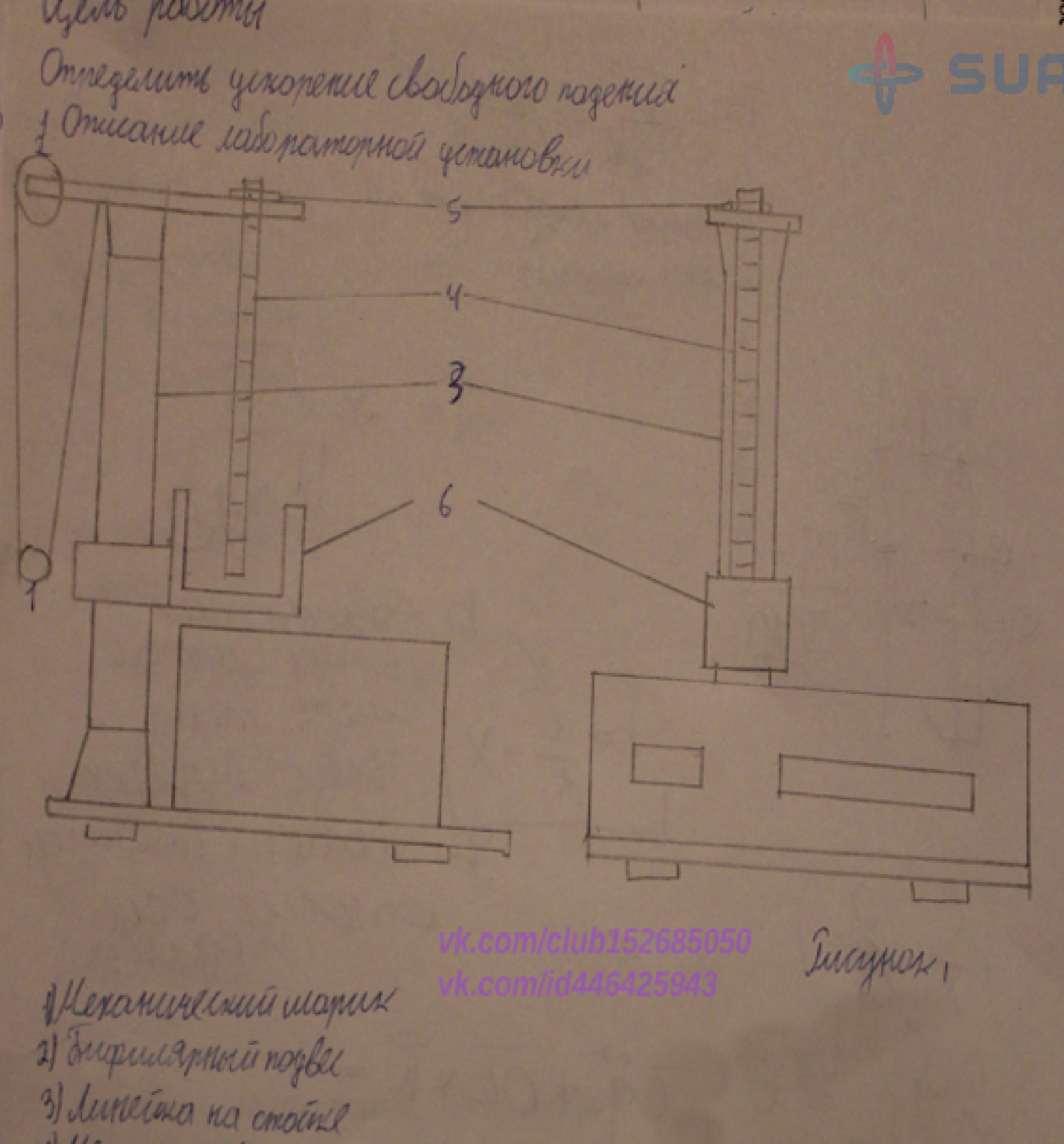


Рисунок 1

1) Механический маятник
2) Бифилярный подвес
3) Линейка на стойке
4) Металлический стержень
5) Опорная призма
6) Фотодатчик

Характеристика установки

Длина маятника - 56 см

Масса маятника - 332 г.

$\theta_l = 0{,}5$ $\theta_t = 0{,}001$

Таблица 1

Прибор	Цена деления	Предел измерений	Погрешность
Секундомер	0,01 с	99.999 с	0,02
линейка	1 мм	54 мм	0,5 мм

3 Рабочие формулы

$T = \frac{t}{N}$ (1)

T- период колебания

t- время N колебаний

N- число колебаний

$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ (2)

g- ускорение свободного падения

l- длина

$g = \frac{4\pi^2 l}{T_{min}^2 \sqrt{3}}$ (3)

T_{min}- минимальный период . . . .

$Y = \frac{T^2 b}{4\pi^2}$ (4)

$Y = \frac{I}{m}$

I- момент

m- масса

4. Результаты измерений и вычислений

Таблица 4.1 Мат. маятник

N	1	2	3	4	5
L, см	40	35	30	25	20
t, c	12,62	11,77	10.84	9,98	8,81

Физический маятник

x, см	7	8	9	10	11	12	15	17
t_1, c	11,53	11,51	11,43	11,43	11,41	11,40	11,53	11,81
t_2, c	11,52	11,50	11,42	11,43	11,41	11,37	11,54	11,82
t_3, c	11,52	11,50	11,42	11,43	11,41	11,40	11,54	11,82
$t_{ср}$, c	11,52	11,50	11,42	11,43	11,41	11,40	11,54	11,82
$T_{ср}$, c	1,152	1,150	1,142	1,143	1,141	1,140	1,1540	1,181

Табл. 4.3

N	1	2	3	4	5	6
t, c	11,41	11,43	11,51	11,53	11,55	11,62
x, м	0,1000	0,105	0,115	0,120	0,125	0,129
b, м	0,180	0,175	0,168	0,160	0,154	0,151
$y, м^2$	0,700	0,555	0,545	0,540	0,535	0,520

Примеры вычислений по формуле 1

$T_1 = \frac{11,41}{10} = 1,141$

$T_2 = \frac{11,51}{10} = 1,151$

$T_3 = \frac{11,43}{10} = \frac{1,143}{10}$

$T_4 = \frac{11,53}{10} = 1,153$

$T_5 = \frac{11,55}{10} = 1,155$

$T_6 = \frac{11,62}{10} = 1,162$

по формуле 2

$g_1 = \frac{4\pi^2 \cdot 0,40}{1,262^2} = 9,905 \approx 9,9$ м/с² ✓

$g_2 = \frac{4\pi^2 \cdot 0,35}{1,177} = 9,969 = 10$ м/с²

$g_3 = \frac{4\pi^2 \cdot 0,30}{1,084^2} = 10,069 = 10,1$ м/с²

$g_4 = \frac{4\pi^2 \cdot 0,25}{0,881} = 10,162 = 10,2$ м/с²

Определение $g_{ср}$

$g_{ср} = \frac{9,9 + 10,0 + 10,1 + 9,9 + 10,2}{5} = 10,02 \approx 10$ м/с²

Физический маятник. Определяем средний период

$x_1 = 0,07$ м

$T_{1ср} = \frac{11,53 + 11,52 + 11,52}{3} = 11,523 \approx 11,52$ с

$T_{2ср} = \frac{11,51 + 11,50 + 11,50}{3} = 11,503 \approx 11,50$ с $\quad x_2 = 0,08$ м

$T_{3ср} = \frac{11,43 + 11,42 + 11,42}{3} = 11,423 \approx 11,42$ с $\quad x_3 = 0,09$ м

$T_{4ср} = \frac{11,43 + 11,43 + 11,43}{3} \approx 11,43$ с $\quad x_4 = 0,1$ м

$T_{5ср} = \frac{11,41 + 11,41 + 11,41}{3} \approx 11,41$ с $\quad x_5 = 0,11$ м

$T_{6ср} = \frac{11,40 + 11,40 + 11,40}{3} \approx 11,40 \quad x_6 = 0,12$ м

$T_{7ср} = \frac{11,53 + 11,53 + 11,53}{3} \approx 11,53$ с $\quad x_7 = 0,15$ м

$T_{8ср} = \frac{11,71 + 11,81 + 11,81}{3} \approx 11,81 \quad x_8 = 0,17$ м

Находим T_{min}

$l = 54$ см ?

$T_{min} = 11{,}40\,c$ $t_p = 4{,}303$

$\Delta T_{min} = 4{,}303 \cdot \sqrt{\frac{\frac{11{,}41}{2}}{3}} = 0{,}01$?

по формуле 3 находим ускорение свободного падения

$g = \frac{4\pi^2 \cdot 0{,}5}{11{,}40^2 \cdot \sqrt{3}} = 9{,}461$

$\Delta g = \sqrt{\varepsilon_{T_{min}}^2 + \theta_l^2 + \theta_t^2} = 0{,}5$

$\frac{\Delta g}{g} \cdot 100 = 5{,}263\%$

$g = 9{,}461 \pm 0{,}5\,м/с^2$

по формуле 4

$b_1 = \frac{0{,}54}{2} - x_1 = 0{,}20$ $\quad Y_1 = \frac{11{,}52^2 \cdot b_1}{4\pi^2} = 0{,}675 \approx 0{,}7$

$b_2 = \frac{1}{2} - x_2 = 0{,}196$ $\quad Y_2 = \frac{11{,}50^2 \cdot b_2}{4\pi^2} = 0{,}637 \approx 0{,}6$

$b_3 = \frac{1}{2} - x_3 = 0{,}180$ $\quad Y_3 = \frac{11{,}42 \cdot b_3}{4\pi^2} = 0{,}595 \approx 0{,}6$

$b_4 = \frac{1}{2} - x_4 = 0{,}175$ $\quad Y_4 = \frac{11{,}45^2 \cdot b_4}{4\pi^2} = 0{,}563 \approx 0{,}6$

$b_5 = \frac{1}{2} - x_5 = 0{,}168$ $\quad Y_5 = \frac{11{,}41^2 \cdot b_5}{4\pi^2} = 0{,}528 \approx 0{,}5$

$b_6 = \frac{1}{2} - x_6 = 0{,}150$ $\quad Y_6 = \frac{11{,}40^2 \cdot b_6}{4\pi^2} = 0{,}484 \approx 0{,}5$

$b_7 = \frac{1}{2} - x_7 = 0{,}120$ $\quad Y_7 = \frac{11{,}53^2 \cdot b_7}{4\pi^2} = 0{,}405 \approx 0{,}4$

$b_8 = \frac{1}{2} - x_8 = 0{,}108$ $\quad Y_8 = \frac{11{,}81^2 \cdot b_8}{4\pi^2} = 0{,}354 \approx 0{,}4$

6 Вычисление погрешности

6,1 Случайная погрешность

$t_{ср.п} = 2{,}571$

$\Delta x_{сл} = 2{,}571 \cdot \sqrt{(9{,}7-10)^2 + (10{,}0-10{,}0)^2 + (10{,}1-10{,}0)^2 + (9{,}9-10{,}0)^2 + (10{,}2-10{,}0)^2} : \sqrt{6} = 0{,}124$

~~6,2 Абсолютн~~

6,2 Абсолютная погрешность

$\Delta g = \sqrt{(\Delta x_{ср})^2 + \theta_1^2 + \theta t^2} = 0,507$

6,3 Относительная погрешность

$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g_{ср}} \cdot 100 = 5\%$

$g = 10,0 \pm 0,5$ м/с²

7 Вывод

Выполнив лабораторную работу, ознакомился с методиками вычисления свободного падения с помощью математического и физического маятника.

Изучил зависимость момента инерции стержня от расстояния до его краёв

1) Математический маятник

$\theta_g = \left|\frac{\partial g}{\partial l}\right| \theta_l + \left|\frac{\partial g}{\partial T}\right| \theta_T = g\left(\frac{\theta_l}{l} + \frac{2\theta_T}{T}\right) =$

$= 9,9\left(\frac{0,005}{0,4} + \frac{0,001 \cdot 2}{1,262}\right) \approx 0,140$ м/с²

$\theta_l = 0,5$ см $= 0,005$ м; $\theta_T = 0,001$ с

$g = (9,910 \pm 0,14)$ м/с²

2) Для физического маятника

$\theta_g = 9,461\left(\frac{0,0005}{0,54} + \frac{2 \cdot 0,001}{1,140}\right) \approx 0,025$ м/с²

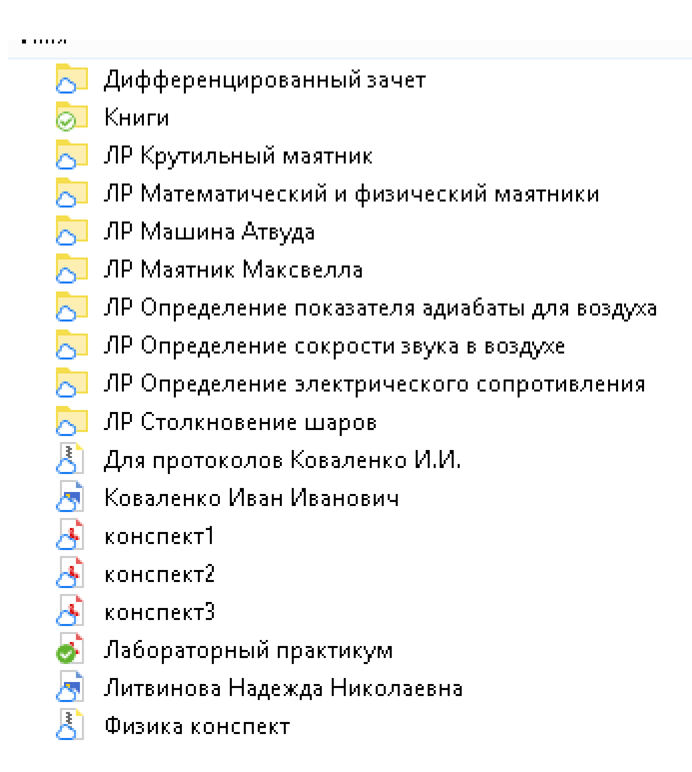
$\theta_l = 0,5$ мм $= 0,0005$ м $\quad \theta_T = 0,0010$

$g = (9,461)$ м/с² $= (9,461 \pm 0,025)$ м/с²

погрешность измерений очень мала

3) $\theta_{Y_1} = 0,007\left(2\frac{0,001}{1,152} + \frac{0,0005}{0,200}\right) = 0,00003$

$\theta_Y = Y\left(2\frac{\theta_T}{T} + \frac{\theta_b}{b}\right)$



СКАЧАТЬ https://yadi.sk/d/RqO8HPxTfh0z_w
СКАЧАТЬ https://archive.org/details/@guap4736_vkclub152685050



Лабораторная работа № 4

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

Цель работы: определение ускорения свободного падения, исследование момента инерции тонкого стержня.

Теоретические сведения

Физическим маятником называется абсолютно твердое тело, закрепленное на неподвижной горизонтальной оси. Плоскость, проходящая через эту ось и центр тяжести вертикальна в положении равновесия. При отклонении маятника от этого положения возникают моменты сил, стремящиеся вернуть маятник в положение равновесия.

По основному уравнению динамики вращательного движения абсолютно твердого тела сумма моментов всех сил, приложенных к телу

$$\sum_i \vec{M}_i = I\vec{\varepsilon}. \tag{4.1}$$

В этой формуле I – момент инерции маятника относительно оси подвеса, $\vec{\varepsilon}$ – его угловое ускорение, а $\sum \vec{M}_i$ – сумма моментов всех сил, к этому маятнику приложенных.

На рис. 4.1 изображен физический маятник. Ось вращения отмечена буквой O, центр тяжести буквой C. Обозначим $\overrightarrow{OC} = \vec{b}$. К точке C приложены две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции $\vec{N}$.

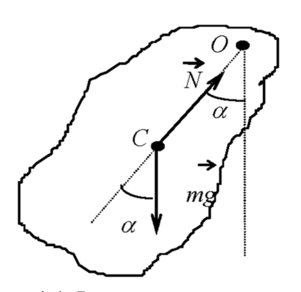


Рис. 4.1.Физический маятник

Поскольку сила $\vec{N}$ направлена вдоль отрезка $[OC]$, ее момент относительно оси O равен нулю, а сумма моментов этих сил

$$\overrightarrow{OC} \times m\vec{g} + \overrightarrow{OC} \times \vec{N} = \overrightarrow{OC} \times m\vec{g} = \vec{b} \times m\vec{g}.$$

Подставим результат в (4.1) и получим

$$I\vec{\varepsilon} = \vec{b} \times m\vec{g}.$$

Спроектируем полученное выражение на направление оси вращения.

$$I\varepsilon = -mgb \cdot \sin\alpha.$$

Знак минус показывает, что момент силы тяжести стремится вернуть маятник в положение равновесия. Ограничимся рассмотрением лишь малых колебаний, для которых $\sin\alpha = \alpha$, и учтем, что угловое ускорение есть вторая производная от угла отклонения по времени $\varepsilon = \alpha''(t)$,

$$\alpha''(t) + \frac{mgb}{I} \cdot \alpha(t) = 0. \quad (4.2)$$

Получившееся уравнение аналогично дифференциальному уравнению гармонических колебаний пружинного маятника

$$x''(t) + \omega^2 x(t) = 0. \quad (4.3)$$

с циклической частотой $\omega = \sqrt{\frac{mgb}{I}}$. (4.4)

Следовательно, при малых углах отклонения от положения равновесия физический маятник совершает гармонические колебания

$$\alpha(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0), \quad (4.5)$$

период которых зависит от момента инерции маятника относительно оси O, его массы и от расстояния между центром тяжести и этой осью:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgb}}. \quad (4.6)$$

Уравнение (4.5) содержит две константы: амплитуду A и начальную фазу φ_o, значения которых определяются из начальных условий. Если секундомер включить в момент прохождения маятником положения равновесия, то $\varphi_0 = -90°$ и уравнение (4.5) перепишется в виде:

$$\alpha(t) = A\sin(\omega t). \quad (4.7)$$

В случае, когда физический маятник, совершающий малые колебания, представляет собой небольшое тело, подвешенное на легкой

длинной нерастяжимой нити, его можно считать математическим маятником. *Математическим маятником* называется материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити, совершающая под действием силы тяжести малые колебания. Такие колебания являются гармоническими и описываются функциями (4.5) или (4.7).

Момент инерции математического маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса, равен $I = ml^2$, где l – длина нити. Подставляя это выражение в (4.4) и (4.6), найдем циклическую частоту и период колебаний математического маятника.

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}, \qquad (4.8)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}. \qquad (4.9)$$

Таким образом, частота и период колебаний математического маятника зависят от его длины и ускорения свободного падения. От массы маятника они не зависят.

Сравнивая друг с другом формулы (4.6) и (4.9), замечаем, что математический маятник с длиной нити

$$L = \frac{I}{mb}. \qquad (4.10)$$

будет иметь такой же период колебаний, что и физический маятник. Величина, определяемая выражением (4.10), называется *приведенной длиной физического маятника*.

Рассмотрим физический маятник – тонкий длинный стержень. Найдём его момент инерции. Момент инерции любого твёрдого тела определяется относительно оси, вокруг которой происходит вращение или такое вращение гипотетически допустимо. Момент инерции материальной точки относительно оси, находящейся на расстоянии r от неё :

$$I = mr^2. \qquad (4.11)$$

Направим вдоль стержня ось ox, начало координат поместим в середине. Выделим короткий участок стержня длиной dx в точке с координатой x (рис. 4.2).

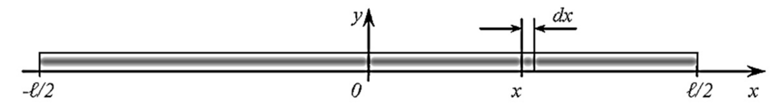


Рис. 4.2. К выводу момента инерции тонкого стержня

Масса стержня m, его длина ℓ. Момент инерции выделенного фрагмента стержня с массой dm:

$$dI = dmx^2.$$

Массу выделенного фрагмента dm можно найти из пропорции:

$$\frac{dm}{m} = \frac{dx}{\ell}; \qquad \Rightarrow \qquad dm = \frac{m}{\ell}dx.$$

Таким образом, для момента инерции фрагмента стержня имеем

$$dI = \frac{mx^2dx}{\ell}.$$

Момент инерции всего стержня I_0 можно найти, проинтегрировав это выражение по всей длине от $-\ell/2$ до $\ell/2$.

$$I_0 = \int\limits_{-\ell/2}^{\ell/2} \frac{mx^2dx}{\ell} = \frac{m}{\ell}\cdot\int\limits_{-\ell/2}^{\ell/2} x^2dx = \frac{mx^3}{3\ell}\Bigg|_{-\ell/2}^{\ell/2} = \frac{m}{3\ell}\cdot\frac{\ell^3}{8} + \frac{m}{3\ell}\cdot\frac{\ell^3}{8} = \frac{m\ell^2}{12}.$$

Мы получили момент инерции стержня относительно оси, проходящей через его середину, который в дальнейшем будем называть I_0.

$$I_0 = \frac{m\ell^2}{12} \qquad (4.12)$$

Во всех формулах, использованных раньше, рассматривался момент инерции стержня относительно оси подвеса, не проходящей через центр тяжести. Эти величины связаны друг с другом теоремой Штейнера $I = I_0 + mb^2$.

$$I = \frac{m\ell^2}{12} + mb^2, \qquad (4.13)$$

где b – расстояние между центром тяжести и осью. Если ось проходит через край стержня, т.е. $b = \ell/2$, то момент инерции относительно нее

$$I_\ell = \frac{m\ell^2}{12} + m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = \frac{m\ell^2}{12} + \frac{m\ell^2}{4} = \frac{m\ell^2}{3}, \text{ т. е.}$$

$$I_\ell = \frac{m\ell^2}{3}. \tag{4.14}$$

Отметим, что формулы (4.12) и (4.14) являются частными случаями формулы (4.13) при $b = 0$ и при $b = \ell/2$. Вернёмся к общему случаю: подставим (4.13) в (4.6), преобразуем и получим

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{m\ell^2}{12} + mb^2}{mgb}} = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{\ell^2}{12} + b^2}{gb}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell^2 + 12b^2}{12gb}}. \tag{4.15}$$

На рис. 4.3 приведён график получившейся зависимости. Видно, что у неё есть минимум при b 15 –18 см. Проведём анализ функции $T(b)$, найдём минимальное значение периода T и соответствующую координату b.

$$T'(b) = \frac{\left(\frac{\ell^2 + 12b^2}{12gb}\right)'_b}{4\pi\sqrt{\frac{\ell^2 + 12b^2}{12gb}}} = \frac{\frac{24b12gb - 12g\left(\ell^2 + 12b^2\right)}{(12gb)^2}}{4\pi\sqrt{\frac{\ell^2 + 12b^2}{12gb}}} = \frac{12b^2 - \ell^2}{48gb^2\pi\sqrt{\frac{\ell^2 + 12b^2}{12gb}}}.$$

Приравняем производную нулю: $T'(b) = 0$; $\Rightarrow$ $12b^2 = \ell^2$; $\Rightarrow$ $b = \ell/\sqrt{12}$. Подставим получившееся значение b в формулу (4.15) и после вычислений получим минимальный период колебаний тонкого стержня.

$$T_{\min} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{\sqrt{3}g}}. \tag{4.16}$$

В написанной формуле ℓ – длина всего стержня, которая может быть без труда измерена, причём очень точно. Период колебаний измеряется тоже весьма точно.

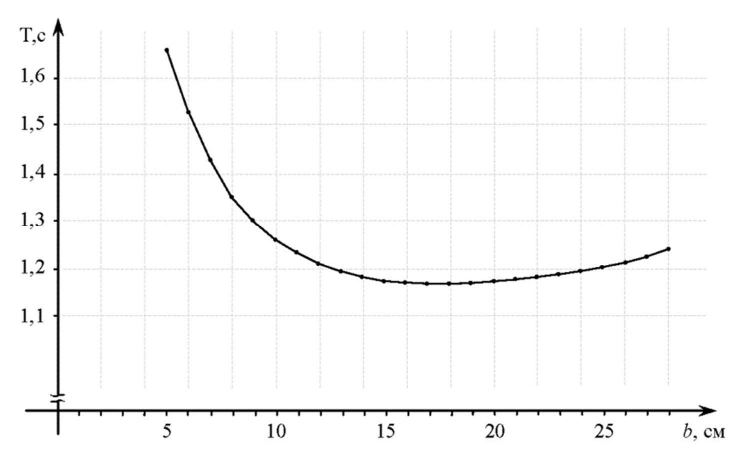


Рис. 4.3. График зависимости периода колебаний от параметра b

Для измерения ускорения свободного падения нужно измерить периоды колебаний физического маятника относительно нескольких осей, найти минимум, и по соответствующему периоду $T_{\min}$ и по длине всего стержня ℓ найти g по формуле

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2 \sqrt{3}}. \tag{4.17}$$

Снова вернёмся к уравнению (4.15) и перепишем его в виде

$$\frac{T^2 b}{4\pi^2} = \frac{\ell^2}{12g} + \frac{b^2}{g}. \tag{4.18}$$

Введём обозначения:

$$Y = \frac{T^2 b}{4\pi^2}, \quad Y_0 = \frac{\ell^2}{12g}, \quad k = \frac{1}{g}, \quad z = b^2 \tag{4.19}$$

и получим функцию $Y(z)$ (рис. 4.4):

$$Y = Y_0 + k \cdot z. \tag{4.20}$$

Физический смысл величин: $Y = I/m$ – момент инерции тела, делённый на его массу; $Y_o = I_o/m$ – момент инерции тела относительно центра тяжести стержня, делённый на его массу.

Угловой коэффициент этой функции $k = 1/g$. Значения этой функции Y и её аргумента z могут быть вычислены по измеренным значениям T и b. Функция (4.20) – это другая форма записи функции (4.13).

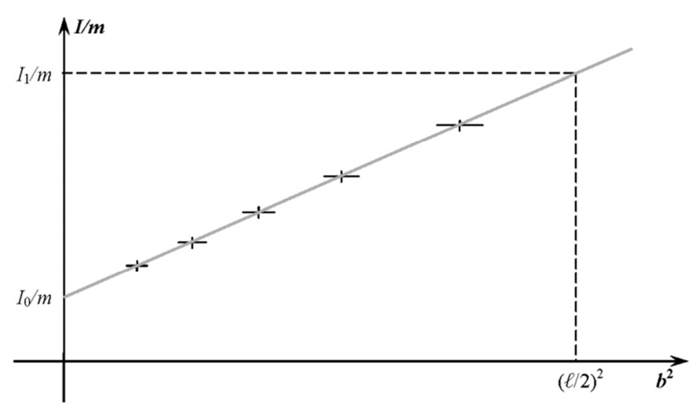


Рис. 4.4. Зависимость приведенного момента инерции от положения оси маятника

Лабораторная установка

Внешний вид установки приведен на рис. 4.5. Установка состоит из математического и физического маятников. Математический маятник выполнен в виде металлического шарика 1 на бифилярном подвесе 2. Длина подвеса измеряется линейкой на стойке 3.

Физический маятник есть металлический стержень 4, на котором крепится подвижная ось – опорная призма 5. Фотодатчик 6 на нижнем кронштейне сигнализирует о прохождении маятником положения равновесия. Время измеряется миллисекундомером, а число колебаний специальным счетчиком. Прибор включается нажатием кнопки “Сеть”. Кнопка “Сброс” служит для установки нуля. Нажатие кнопки “Стоп” выключает прибор после окончания текущего колебания. Для упрощения измерения расстояния на стержне через каждый сантиметр нанесены риски. Кроме того, на установке имеется специальная измерительная линейка.

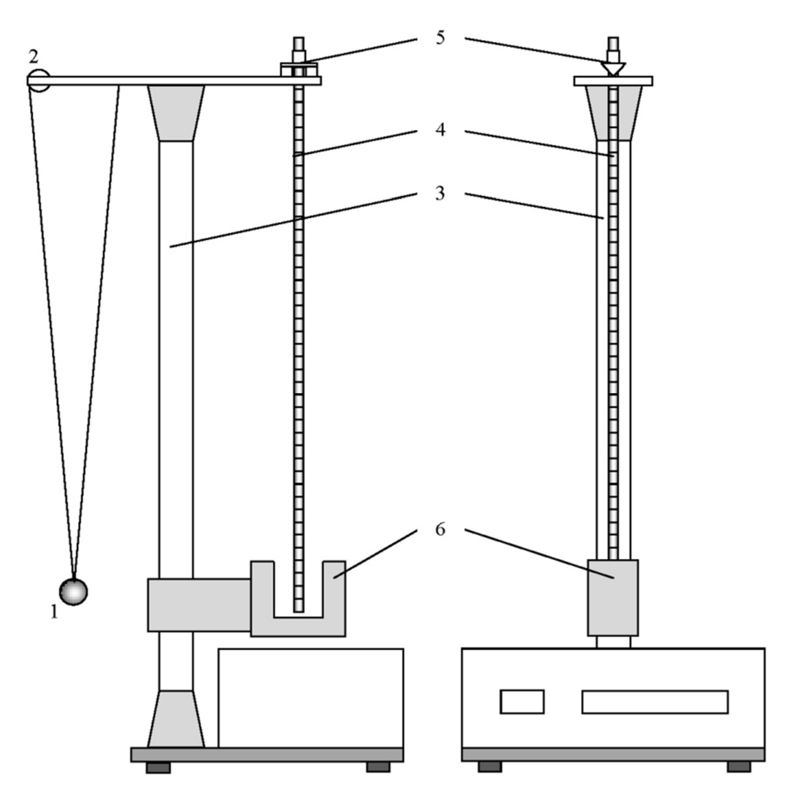


Рис. 4.5. Внешний вид лабораторной установки

Задания и порядок их выполнения

Задание 1. Определение ускорения свободного падения при помощи математического маятника.

Верхнюю планку следует развернуть так, чтобы математический маятник оказался над фотодатчиком, таким образом, чтобы в положении равновесия он пересекал оптическую ось.

Перед началом измерений нажимают кнопку “Сброс”. Шарик отклоняют на небольшой угол ~4–5° и осторожно без толчка отпускают. Когда на счетчике колебаний появляется цифра 9, нажимают кнопку “Стоп”. В таком случае прибор измерит время 10 полных колебаний, и найти их средний период будет очень просто.

Определение периода колебаний проводится таким методом не менее 5 раз при различных длинах маятника ℓ. Для каждого значения периода и соответствующей длины при помощи формулы (4.9), переписанной в явном виде:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2},$$

находится ускорение свободного падения. Необходимо провести стандартную математическую обработку результатов измерения g, считая все вычисленные значения случайными величинами. При определении систематической погрешности считать θ_ℓ = 0,5 см, θ_T = 0,001 с.

Задание 2. Определение ускорения свободного падения при помощи физического маятника.

Верхнюю планку повернуть так, чтобы нижняя часть оси физического маятника проходила через прорезь фотодатчика. Отклонить маятник на небольшой угол ~ 4–5° и осторожно без толчка отпустить его. Нажать кнопку “Сброс”; включится секундомер и счетчик колебаний. Когда на счетчике колебаний появится цифра 9, нажать кнопку “Стоп”. В таком случае прибор измерит время 10 полных колебаний и найти их средний период $T_о$ будет очень просто.

Измерения провести для шести положений оси на расстояниях 10–15 см от края стержня по три раза в каждом положении. Во время измерений заполнять табл. 4.1.

Таблица 4.1

x, см	10	11	12	13	14	15
T_1, с						
T_2, с						
T_3, с						
$T_{ср}$, с						

Анализируя данные таблицы нужно найти минимум среднего периода колебаний и по формуле (4.17) определить ускорение свободного падения.

Необходимо провести стандартную математическую обработку результатов измерения g, считая данные каждого столбца случайными величинами T_1, T_2, T_3. При определении систематической погрешности считать $\theta_\ell = 0{,}5$ мм, $\theta_T = 0{,}001$ с.

Задание 3. Изучение свойств момента инерции тонкого стержня.

Необходимо получить серию из 6–8 измерений $T(b)$, где b – расстояние между центром масс тела и осью подвеса (рис. 4.6).

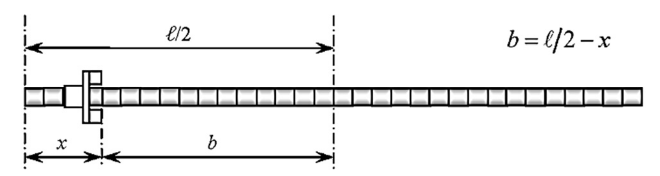


Рис. 4.6. Положение оси подвеса маятника

Значения b нужно менять во всём диапазоне значений – от $b_{\min}$ = = 2 см до $b_{\max}$ = 27 см. Результаты измерений и вычислений следует оформить в виде табл. 4.2. Обрабатывать следует результаты, полученные во второй и в третьей частях работы.

Величину Y следует вычислять по формуле (4.19).

Формулу для вычисления систематической погрешности θ_Y нужно получить самостоятельно.

При вычислениях погрешности использовать θ_b = 0,5 мм, $\theta_T = 0{,}001$ с.

Таблица 4.2

№	1	2	3	4	5	6 …
T, с						
x, м						
b, м						
Y, м^2						
θ_Y, м^2						

Измеренные и вычисленные результаты из табл. 4.2 нужно отложить на графике, как на рис. 4.2. Через получившиеся точки (крестики) на графике нужно провести прямую линию. Эта линия должна быть экстраполирована, т.е. продолжена до значений $z = 0$ и $z = (\ell/2)^2$.

Анализируя построенный график нужно убедиться в следующем:

получившаяся зависимость линейна;

$I_1/I_0 = 4$.

Контрольные вопросы

1. Какие тела называются математическим и физическим маятниками?
2. Напишите дифференциальные уравнения колебаний физического и пружинного маятников, а также их решения.
3. Каким образом по начальному отклонению и начальной скорости маятника найти амплитуду и начальную фазу колебаний?
4. Напишите формулы для периодов и частот колебаний пружинного, физического и математического маятников.
5. В чем состоит содержание теоремы Штейнера?
6. Что называется приведенной длиной физического маятника?
7. Почему значение g во втором задании находится без использования величины b?
8. Почему I_1 должен быть в четыре раза больше, чем I_0?